



Geospatial Innovations in Urban Green Space Management in Baghdad: A Smart City Perspective

Abolfazl Ghanbari¹ , Saif Abbas Hadi^{2*} , Khalil Valizadeh Kamran³

1. Professor in Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: a_ghanbari@tabrizu.ac.ir
2. Ph. D Student in Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: saif.abbas@tabrizu.ac.ir
3. Professor in Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: valizadeh@tabrizu.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 25 April 2025

Received in revised form: 2 June
2025

Accepted: 31 August 2025

Published online: 5 November
2025

ABSTRACT

Urban green space management is integral to sustainable urban development, particularly in rapidly urbanizing cities like Baghdad. This study explores the integration of geospatial innovations and smart city technologies to monitor and enhance urban green spaces. By leveraging remote sensing tools such as NDVI and VHI alongside IoT-enabled real-time data systems, this research demonstrates a practical framework for monitoring vegetation health and addressing environmental challenges. Key findings highlight the classification of vegetation density and drought severity across Baghdad, offering actionable insights for policymakers. Despite challenges such as resource limitations and data integration complexities, the study identifies strategic opportunities, including IoT adoption, predictive analytics, and community-driven data collection. These findings present a scalable blueprint for other cities aiming to balance ecological integrity with urban growth through innovative geospatial strategies.

Keywords:

Urban Green Space
Management,
Geospatial Innovations,
Remote Sensing,
Smart Cities,
Predictive Analytics

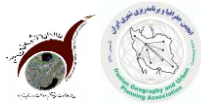
Cite this article: Ghanbari, A., Hadi, S.A., & Valizadeh Kamran, Kh. (2025). Geospatial Innovations in Urban Green Space Management in Baghdad: A Smart City Perspective. *Journal of Remote Sensing and GIS Applications in Environmental Sciences*, 5 (16), 30-48. <http://doi.org/10.22034/rsgi.2025.66958.1135>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/rsgi.2025.66958.1135>

Publisher: University of Tabriz.



Extended Abstract

Introduction

Urbanization is accelerating rapidly, with 68% of the world's population projected to live in cities by 2050, adding about 2.5 billion urban residents—mainly in Asia and Africa. This growth brings major challenges for city planning, especially in supporting public health and well-being. Urban life can increase isolation, noise, pollution, and stress, partly due to private housing, isolated workplaces, and car dependency. Despite these issues, cities attract people with job opportunities and amenities. Green spaces are crucial for reducing isolation and improving health, but urban densification threatens their availability. As climate change intensifies, urban greening and equitable green space distribution—often lacking in cities like Baghdad—are increasingly vital. Smart cities are addressing these challenges by using Geographic Information Systems (GIS) and tools like NDVI and VHI to monitor and manage green spaces. Integrating GIS into urban planning helps sustain green areas, enhance quality of life, and build resilient cities for the future.

Data and Method

This study used advanced geospatial technologies, remote sensing, and IoT systems to monitor and manage Baghdad's urban green spaces. High-resolution satellite images from Google Earth Engine and proposed ground-level IoT sensors provided key data. Python libraries (GeoPandas, Rasterio, NumPy) processed the imagery, extracting vegetation indices and removing noise. Data gaps were filled using interpolation, and sensor data were calibrated to align with satellite insights. Vegetation trends were analyzed over time, especially in relation to seasonal changes and urban growth. Machine learning models forecasted vegetation health, while ground validation checked accuracy. Results were visualized on custom dashboards for intuitive analysis.

Results and Discussion

The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is a key indicator for assessing vegetation health and density in urban areas, with higher values reflecting healthier, denser greenery. In Baghdad, 2023 NDVI data showed that most green spaces are moderately (42.6%) or slightly dense (39.3%), while 17% are highly dense and just 1.2% lack vegetation. The Vegetation Health Index (VHI), which combines vegetation density and temperature stress, revealed over 45% of Baghdad's green areas faced some level of drought stress in 2023. Only 54.6% were drought-free. These findings highlight the need for targeted interventions like improved irrigation and drought-resistant plants. Integrating IoT sensors with geospatial platforms enables real-time monitoring of soil moisture, air quality, and vegetation indices, allowing city officials to respond quickly and manage green spaces more sustainably. Such data-driven approaches are vital for addressing urbanization, climate change, and water scarcity.

Conclusion

Integrating geospatial technologies with smart city principles offers a powerful approach for sustainable urban green space management. This study of Baghdad demonstrates how tools like NDVI and VHI effectively monitor vegetation health and drought impacts, revealing significant variability across the city. Addressing challenges such as funding, expertise, and data integration requires strategies like deploying IoT devices, advanced analytics, and fostering multi-sector collaboration. Community involvement in data collection also strengthens monitoring and stewardship. By combining advanced technologies with collaborative efforts, cities can develop adaptive platforms for urban planning and sustainability. Baghdad's experience provides a model for other cities facing rapid urbanization.

References

- Besir, A. B., & Cuce, E. (2018). Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 915-939.
- Braverman, M. (2003). Managing the human impact of crisis. *Risk Management*, 50(5), 10.



- Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2011). Smart cities in Europe. *Journal of urban technology*, 18(2), 65-82.
- Chourabi, H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J. R., Mellouli, S., Nahon, K., Pardo, T. A., & Scholl, H. J. (2012). Understanding smart cities: An integrative framework. 2012 45th Hawaii international conference on system sciences.
- Costa, D. G., Bittencourt, J. C. N., Oliveira, F., Peixoto, J. P. J., & Jesus, T. C. (2024). Achieving sustainable smart cities through geospatial data-driven approaches. *Sustainability*, 16. 640(2).
- Elmqvist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P. J., McDonald, R. I., Parnell, S., Schewenius, M., Sendstad, M., & Seto, K. C. (2013). Urbanization, biodiversity and ecosystem services: challenges and opportunities: a global assessment. *Springer Nature*.
- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanovic, N., & Meijers, E. J. (2007). Smart cities. Ranking of European medium-sized cities. Final report.
- Hall, R. E., Bowerman, B., Braverman, J., Taylor, J., Todosow, H., & Von Wimmersperg, U. (2000). The vision of a smart city.
- Hoelscher, K. (2016). The evolution of the smart cities agenda in India. *International Area Studies Review*, 19(1), 28-44.
- Hyder, M. B., & Haque, T. Z. (2022). Understanding the linkages and importance of urban greenspaces for achieving sustainable development goals 2030. *J. Sustain. Dev*, 15, 144.
- Jabbar, M., Yusoff, M. M., & Shafie, A. (2022). Assessing the role of urban green spaces for human well-being: A systematic review. *GeoJournal*, 1-19.
- Joss, S., Cook, M., & Dayot, Y. (2017). Smart cities: Towards a new citizenship regime? A discourse analysis of the British smart city standard. *Journal of urban technology*, 24(4), 29-49.
- Kistemann, T., Dangendorf, F., & Schweikart, J. (2002). New perspectives on the use of Geographical Information Systems (GIS) in environmental health sciences. *International journal of hygiene and environmental health*, 205(3), 169-181.
- Kourtit, K., Nijkamp, P., & Arribas, D. (2012). Smart cities in perspective—a comparative European study by means of self-organizing maps. *Innovation: The European journal of social science research*, 25(2), 229-246.
- Li, Y., Lai, Y., & Lin, Y. (2024). The Role of Diversified Geo-Information Technologies in Urban Governance: A Literature Review. *Land*, 13(9), 1408.
- Maas, J., Verheij, R. A., Groenewegen, P. P., De Vries, S., & Spreeuwenberg, P. (2006). Green space, urbanity, and health: how strong is the relation? *Journal of epidemiology & community health*, 60(7), 587-592.
- Moura, F., & de Abreu e Silva, J. (2021). Smart cities: definitions, evolution of the concept, and examples of initiatives. In *Industry, innovation and infrastructure* (pp. 989-997). Springer.
- Mudau, N., Mwaniki, D., Tsoeleng, L., Mashalane, M., Beguy, D., & Ndugwa, R. (2020). Assessment of SDG indicator 11.3. 1 and urban growth trends of major and small cities in South Africa. *Sustainability*, 12(17), 7063.
- Mukundan, A., Karmakar, R., Jouhar, J., Valappil, M. A. E., & Wang, H.-C. (2025). Advancing Urban Development: Applications of Hyperspectral Imaging in Smart City Innovations and Sustainable Solutions. *Smart Cities*, 8(2), 51.
- Naidu, D. S. (2018). GIS Applications to smart cities. *International Journal of Advanced Multidisciplinary Scientific Research (IJAMSR)*, 1(1), 1-7.
- Pauleit, S., Ambrose-Oji, B., Andersson, E., Anton, B., Buijs, A., Haase, D., Elands, B., Hansen, R., Kowarik, I., & Kronenberg, J. (2019). Advancing urban green infrastructure in Europe: Outcomes and reflections from the GREEN SURGE project. *Urban forestry & urban greening*, 40, 4-16.
- Romanello, M., Di Napoli, C., Green, C., Kennard, H., Lampard, P., Scamman, D., Walawender, M., Ali, Z., Ameli, N., & Ayeb-Karlsson, S. (2023). The 2023 report of the Lancet Countdown on health and climate



change: the imperative for a health-centred response in a world facing irreversible harms. *The Lancet*, 402(10419), 2346-2394.

- Sabil, A. (2021). The sustainable city: the characteristic public urban green space for enhancing community social sustainability in Baghdad. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 12(3), 202-214.
- Sugiyama, T., Carver, A., Koohsari, M. J., & Veitch, J. (2018). Advantages of public green spaces in enhancing population health. *Landscape and urban planning*, 178, 12-17.
- Turek, T., & Stępnia, C. (2021). Areas of integration of GIS technology and smart city tools. Research findings. *Procedia Computer Science*, 192, 4681-4690.
- Wolch, J. R., Byrne, J., & Newell, J. P. (2014). Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'. *Landscape and urban planning*, 125, 234-244.
- Zhang, L., Shi, S., Wu, S., Yang, Y., Xu, J., Zhang, Y., Wang, Q., Shen, H., Zhang, Y., & Yan, D. (2022). Effects of greenness on preterm birth: a national longitudinal study of 3.7 million singleton births. *The Innovation*, 3 (3).

نوآوری‌های مکانی - فضایی در مدیریت فضای سبز شهری بغداد: دیدگاه شهرهای هوشمند

ابوالفضل قنبری^۱ , سیف عباس هادی^۲ , خلیل ولیزاده کامران^۳ 

۱. استاد گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

رایانامه: a_ghanbari@tabrizu.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

رایانامه: saif.abbas@tabrizu.ac.ir

۳. استاد گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: valizadeh@tabrizu.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله

مقاله پژوهشی

مدیریت فضاهای سبز شهری به‌عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از توسعه پایدار شهری، به ویژه در کلان شهرهای در حال رشد سریعی مانند بغداد، شناخته می‌شود. این پژوهش به بررسی ادغام نوآوری‌های مکانی-فضایی و فناوری‌های شهر هوشمند برای پایش و ارتقای فضاهای سبز شهری می‌پردازد. با بهره‌گیری از ابزارهای سنجش از دور مانند شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص سلامت پوشش گیاهی (VHI) در کنار سیستم‌های جمع‌آوری داده‌های بلادرنگ مبتنی بر اینترنت اشیا (IoT)، این مطالعه چارچوبی عملی برای رصد سلامت پوشش گیاهی و مقابله با چالش‌های زیستمحیطی ارائه می‌دهد. یافته‌های کلانی، طبقه‌بندی تراکم پوشش گیاهی و شدت خشکسالی در مناطق مختلف بغداد را نشان می‌دهد که بینش‌های کاربردی برای سیاست‌گذاران فراهم می‌کند.

علیرغم چالش‌هایی مانند محدودیت منابع و پیچیدگی‌های ادغام داده‌ها، این پژوهش فرصت‌های راهبردی از جمله به کارگیری فناوری اینترنت اشیا، تحلیل‌های پیش‌بینی‌کننده و جمع‌آوری داده‌های مشارکتی توسط جامعه محلی را شناسایی کرده است. این یافته‌ها الگویی قابل توسعه برای سایر شهرهایی ارائه می‌دهد که به دنبال ایجاد تعادل بین یکپارچگی اکولوژیک و رشد شهری از طریق راهبردهای نوآورانه مکانی-فضایی هستند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۸/۱۴

کلیدواژه‌ها:

مدیریت فضای سبز شهری،

نوآوری‌های مکانی-فضایی،

شهرهای هوشمند،

تحلیل پیش‌بینی‌کننده،

سنجش از دور.

استناد: قنبری، ابوالفضل؛ هادی، سیف عباس و ولیزاده کامران، خلیل (۱۴۰۳). نوآوری‌های مکانی-فضایی در مدیریت فضای سبز شهری بغداد: دیدگاه شهرهای

هوشمند. کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در علوم محیطی، ۵ (۱۶)، ۴۸-۳۰.

<http://doi.org/10.22034/rsgi.2025.66958.1135>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

در چند دهه اخیر، یک روند قابل توجه از مهاجرت جمعیت به سمت مناطق شهری وجود داشته است. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۵۰، حدود دو سوم جمعیت جهانی در شهرهای بزرگ زندگی خواهند کرد (Pauleit et al., 2019). این شهرنشینی سریع یکی از عمیق‌ترین دگرگونی‌هایی است که بشریت تجربه کرده است. طراحی شهرهای باید اولویت سلامت و شادکامی ساکنان خود را در نظر بگیرد و بنابراین ضروری است که استراتژی‌هایی برای ارتقای رفاه ساکنان محلی اجرا شود. به عنوان موجودات اجتماعی ذاتی، افراد نیاز به فرصت‌های ارتباط و تعامل با دیگران دارند (Hoelscher, 2016).

با این حال، زندگی شهری مدرن اغلب این نیازهای اساسی انسانی را محدود می‌کند. بسیاری از ساکنان شهر خود را به‌طور فزاینده‌ای منزوی می‌بینند و زندگی‌شان با سر و صدا و استرس مشخص می‌شود. تغییر به سمت فضاهای خصوصی زندگی، شیوع محیط‌های اداری منزوی و افزایش محبوبیت خودرو به عنوان اصلی‌ترین شیوه حمل‌ونقل به این حس جدایی کمک می‌کند. در نتیجه، مناطق شهری اغلب با چالش‌هایی مانند ترافیک سنگین، آلودگی صوتی، کاهش کیفیت هوا، افزایش دمای هوا و نرخ بالاتر خشونت در مقایسه با محیط‌های روستایی مرتبط هستند (Besir & Cuce, 2018).

با وجود این چالش‌ها، شهرها مزایای متعددی ارائه می‌دهند که می‌توانند کیفیت زندگی را بهبود بخشند و همین امر باعث گسترش آن‌ها می‌شود. تقاضای بالا برای مشاغل در دفاتر پرتراکم، همراه با زیرساخت‌های توسعه‌یافته و فرصت‌های فعالیت‌های تفریحی، ساکنان، کارگران ماهر، دانشجویان، کسب‌وکارها و گردشگران را به خود جذب می‌کند. در این میان، فضاهای سبز عمومی به عنوان عناصر حیاتی در طراحی شهری ظاهر می‌شوند و به کاهش اثرات انزوای زندگی شهری کمک می‌کنند. فضاهای سبز به عنوان مناطق عمومی ضروری در هر محیط شهری شناخته می‌شوند، اما تراکم شهری خطراتی برای دسترسی به آن‌ها ایجاد می‌کند (Braverman, 2003). مطالعات متعدد نشان داده‌اند که دسترسی به فضاهای سبز تأثیر قابل‌توجهی بر زیست‌پذیری شهرها دارد و محیط‌های سالم‌تر و مزایای متعددی برای ساکنان شهری فراهم می‌کند. تحقیقات نشان داده است که افرادی که در نزدیکی مناطق سبز زندگی می‌کنند، معمولاً شادی بیشتر و سلامت بهتری نسبت به کسانی که از چنین دسترسی محروم‌اند تجربه می‌کنند (Mudau et al., 2020; Wolch et al., 2014). این فضاها پناهگاهی مناسب از استرس‌های زندگی روزمره ارائه می‌دهند.

سبزسازی محیط‌های شهری به‌طور فزاینده‌ای به عنوان یک استراتژی حیاتی در پاسخ به تغییرات اقلیمی مداوم شناخته شده است، چراکه زندگی پایدار بخشی جدایی‌ناپذیر از سبک زندگی معاصر شده است (Romanello et al., 2023). در بغداد، بحث درباره فضای سبز و پوشش گیاهی شهری توجه زیادی را جلب کرده است که این امر با تظاهرات و افزایش آگاهی عمومی درباره این مسائل تشدید شده است. با وجود تراکم نسبتاً بالاتر فضاهای سبز بغداد در مقایسه با سایر شهرهای خلیج فارس، این مناطق به‌طور نابرابر توزیع شده‌اند. برخی از مناطق حاشیه‌ای دارای کمربندهای سبز گسترده‌ای هستند، درحالی‌که محله‌های مرفه‌تر داخلی از فضاهای سبز متعددی از جمله حیاط‌های سرسبز ساختمان‌های پرتراکم بهره‌مند هستند (Maas et al., 2006; Sugiyama et al., 2018).

با شتاب گرفتن شهرنشینی در سطح جهانی، شهرها با مجموعه‌ای از چالش‌ها مواجه هستند که پایداری و زیست‌پذیری آن‌ها را تهدید می‌کند. از جمله این چالش‌ها تخریب محیط زیست است که به شکل آلودگی هوا و آب، از بین رفتن تنوع زیستی به دلیل تخریب زیستگاه‌ها و کاهش قابل توجه کیفیت زندگی ساکنان شهری نمود پیدا می‌کند. گسترش سریع مناطق شهری اغلب منجر به تجاوز به زیستگاه‌های طبیعی شده و باعث کاهش فضاهای سبزی می‌شود که برای حفظ تعادل اکولوژیکی حیاتی هستند. در پاسخ به این مسائل فوری، مفهوم شهرهای هوشمند به عنوان یک رویکرد تحول‌آفرین مطرح شده است که هدف آن ادغام فناوری‌های پیشرفته و راهکارهای مبتنی بر داده برای ارتقای شرایط زندگی شهری است. شهرهای هوشمند از فناوری

اطلاعات و ارتباطات^۱ برای بهینه‌سازی عملکرد شهرها و ترویج توسعه پایدار بهره می‌برند و بدین ترتیب با چالش‌های چندبعدی ناشی از شهرنشینی مقابله می‌کنند (Zhang et al., 2022).

یک جنبه بحرانی در توسعه شهرهای هوشمند، ارتقاء و حفاظت از شهر سبز است. این مناطق سبز صرفاً به‌عنوان الحاقات زیبایی‌شناختی به مناظر شهری نیستند، بلکه نقش حیاتی در تعادل بوم‌شناختی، تنظیم آب‌وهوا و رفاه کلی جوامع ایفا می‌کنند. سبز شهری به افزایش تنوع زیستی کمک می‌کند و با فراهم کردن زیستگاه برای گونه‌های مختلف، خدمات بوم‌شناختی ضروری برای بقای انسان را پشتیبانی می‌کند، مانند تصفیه هوا، تنظیم دمای هوا و مدیریت آب‌های سطحی. علاوه بر این، دسترسی به فضاهای سبز با بهبود نتایج سلامت روانی و جسمی برای ساکنان شهری مرتبط است و همبستگی اجتماعی و مشارکت اجتماعی را ترویج می‌کند وجود پارک‌ها، باغ‌ها و دالان‌های سبز می‌تواند اثر جزیره گرمایی شهری را کاهش دهد، سطح آلودگی را کاهش دهد و جذابیت زیبایی‌شناختی شهرها را افزایش دهد و آنها را برای ساکنان و بازدیدکنندگان جذاب‌تر کند (Elmqvist et al., 2013).

سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی^۲ به‌عنوان ابزارهای ضروری در زمینه برنامه‌ریزی و مدیریت شهری ظاهر شده‌اند، به‌ویژه در چارچوب ابتکارات شهرهای هوشمند. فناوری سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی امکان تجسم، تحلیل و تفسیر داده‌های فضایی را فراهم می‌کند که برای فرآیندهای تصمیم‌گیری آگاهانه ضروری است. با ادغام منابع داده مختلف، از جمله تصاویر ماهواره‌ای، اطلاعات جمعیت‌شناختی و شاخص‌های زیست‌محیطی، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی به برنامه‌ریزان شهری دیدگاه کاملی از پویایی‌های شهری و توزیع فضایی منابع می‌دهد. این قابلیت به‌ویژه برای ارزیابی سلامت و دسترسی به سبز شهری مهم است و امکان مداخلات هدفمند برای ارتقای کیفیت و در دسترس بودن آن‌ها را فراهم می‌کند (Hall et al., 2000). علاوه بر این، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی نظارت بر سبز شهری را از طریق تکنیک‌های تحلیلی پیشرفته مانند شاخص تفاضل نورسنجی گیاهی^۳، شاخص سلامت پوشش گیاهی^۴، شاخص وضعیت پوشش گیاهی^۵ و شاخص بهبود یافته گیاهی^۶ تسهیل می‌کند.

این شاخص‌ها امکان ارزیابی سلامت پوشش گیاهی و تشخیص تغییرات در کیفیت فضاهای سبز در طول زمان را فراهم می‌کنند. با استفاده از این ابزارها، برنامه‌ریزان شهری می‌توانند مناطق نیازمند به توجه، مانند آن‌هایی که از آلودگی یا تخریب رنج می‌برند، شناسایی کنند و استراتژی‌هایی برای بازسازی و ارتقای این منابع حیاتی اجرا کنند. ادغام سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی با چارچوب‌های شهرهای هوشمند نه تنها مدیریت شهری موثر را پشتیبانی می‌کند، بلکه جوامع را برای مشارکت در حفاظت از محیط‌های محلی توانمند می‌کند و حس مالکیت و مسئولیت‌پذیری در قبال سبز شهری را ترویج می‌کند (Kistemann et al., 2002).

سرانجام، با ادامه تکامل شهرها در پاسخ به چالش‌های شهرنشینی، ادغام فناوری، به‌ویژه سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، در فرآیندهای برنامه‌ریزی شهری برای توسعه پایدار سبز شهری ضروری است. با اولویت دادن به ارتقای این مناطق، شهرها می‌توانند کیفیت زندگی ساکنان خود را بهبود بخشند، پایداری زیست‌محیطی را ترویج کنند و اکوسیستم‌های شهری انعطاف‌پذیر ایجاد کنند که در برابر تغییرات مداوم شکوفا می‌شوند.

۱. روش پژوهش

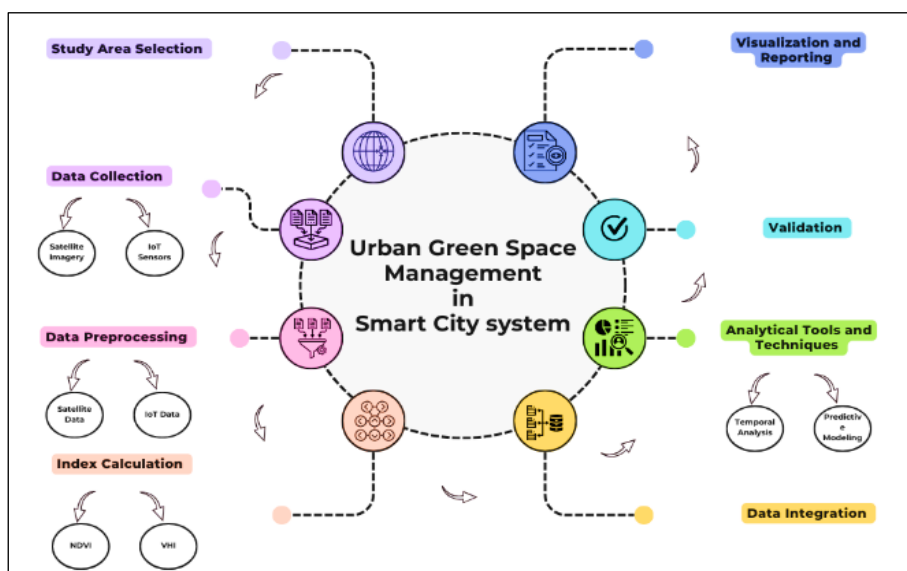
در این پژوهش، به‌منظور مدیریت کارآمد فضاهای سبز در بستر یک شهر هوشمند، شهر بغداد - پایتخت کشور عراق - به‌عنوان

1. ICT
2. GIS
3. NDVI
4. VHI
5. VCI
6. EVI

مطالعه موردی انتخاب شده است. در گام نخست، منابع داده‌ای قابل اتکا برای استخراج اطلاعات مرتبط با وضعیت فضاهای سبز شناسایی و بررسی شده‌اند. در این راستا، از داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و همچنین اطلاعات جمع‌آوری شده از طریق سنسورهای اینترنت اشیا (IoT) بهره‌گیری شده است. این دو دسته داده، پس از طی فرآیندهای پیش‌پردازش و تصحیح، مبنای استخراج دو شاخص کلیدی به‌منظور ارزیابی وضعیت و کیفیت فضاهای سبز شهری قرار گرفته‌اند.

در ادامه، با استفاده از تکنیک‌های تحلیلی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، داده‌های به‌دست‌آمده با یکدیگر تلفیق و تحلیل شده‌اند. سپس نتایج حاصل، پس از طی مرحله اعتبارسنجی، به ترسیم نمایی جامع از الگوهای مکانی و کیفی فضاهای سبز موجود در شهر منجر شده است. این نمای کلی به‌عنوان مبنایی برای تحلیل‌های آماری و تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر داده، امکان اتخاذ راهکارهایی اثربخش در زمینه مدیریت فضاهای سبز در چارچوب شهرهای هوشمند را فراهم می‌سازد.

روش‌شناسی تحقیق و مراحل اجرایی آن در قالب شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱. روش پژوهش

۱-۱. منطقه مورد مطالعه

شهر بغداد به دلیل شهرنشینی سریع آن و نیاز فوری به مدیریت فضای سبز پایدار، به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. مناظر شهری متنوع این شهر زمینه ارزشمندی را برای آزمایش نوآوری‌های ژئوفضایی فراهم می‌کند.

۱-۲. منابع داده

دو مجموعه داده اصلی مورد استفاده قرار گرفتند:

تصاویر ماهواره‌ای: تصاویر با وضوح بالا از موتور جستجوی زمین گوگل^۱ استخراج شدند و بر شاخص‌های پوشش گیاهی مانند شاخص تفاضل نرمال پوشش گیاهی و شاخص سلامت پوشش گیاهی تمرکز داشتند.

سنسورهای اینترنت اشیا^۲: پیشنهاد شد که از سنسورهای سطح زمین اینترنت اشیا برای نظارت لحظه‌ای کیفیت هوا، رطوبت خاک، و تغییرات میکروکلیماتیک در فضاهای سبز انتخاب‌شده استفاده شود.

1. Google Earth Engine

2. IoT

این مجموعه داده‌ها با داده‌های هواشناسی تکمیل شدند تا تنوع آب و هوا و تأثیر آن بر پوشش گیاهی در نظر گرفته شود.

۳-۱. گردآوری و پردازش داده‌ها

داده‌های ماهواره‌ای: تصاویر با استفاده از کتابخانه‌های پایتون، از جمله *GeoPandas*، *Rasterio* و *NumPy* پردازش شدند تا شاخص‌های مربوطه استخراج شوند و نویز ایجاد شده توسط ابرها یا گرد و غبار حذف شود. شکاف‌های زمانی با استفاده از تکنیک‌های درون‌یابی برطرف شدند.

داده‌های سنسورهای اینترنت اشیا: داده‌های حسگرها کالیبره و هماهنگ شدند تا با بینش‌های استخراج شده از داده‌های ماهواره‌ای سازگار و دقیق باشند.

۴-۱. محاسبه شاخص

شاخص تفاضل نورسنجی گیاهی: این شاخص برای ارزیابی تراکم پوشش گیاهی و طبقه‌بندی پوشش زمین به دسته‌های از پیش تعریف شده استفاده شده است و شامل درجه‌های: بدون پوشش گیاهی، پوشش گیاهی کم تراکم، پوشش گیاهی نسبتاً متراکم و پوشش گیاهی بسیار متراکم می‌باشد.

شاخص سلامت پوشش گیاهی: این شاخص برای ارزیابی سلامت پوشش گیاهی و شدت خشکسالی استخراج شد و مناطق را به شرایط خشکسالی شدید و بحرانی، شدید، متوسط، ملایم یا بدون خشکسالی طبقه‌بندی می‌کند.

۵-۱. ادغام داده‌ها

داده‌های ژئوفضایی و سنسورهای اینترنت اشیا در یک پلتفرم یکپارچه مبتنی بر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی ادغام شدند. این ادغام، تجزیه و تحلیل فضایی و تجسم را تسهیل کرد و امکان نظارت لحظه‌ای و به‌روزرسانی پویا را فراهم کرد.

۶-۱. ابزارها و تکنیک‌های تحلیلی

تجزیه و تحلیل زمانی: روندهای پوشش گیاهی در طول زمان برای شناسایی الگوهای تغییر، به ویژه در پاسخ به تغییرات فصلی و گسترش شهری، تحلیل شدند.

مدل‌سازی پیش‌بینی: از مدل‌های یادگیری ماشین مبتنی بر پایتون برای پیش‌بینی سلامت پوشش گیاهی در سناریوهای مختلف استفاده شد که از داده‌های تاریخی و لحظه‌ای بهره می‌برد.

۷-۱. اعتبارسنجی

اعتبارسنجی سطح زمین در مناطق انتخاب شده انجام شد تا دقت خروجی‌های سنجش از دور تأیید شود. نظرسنجی‌های میدانی داده‌هایی در مورد کیفیت خاک، سلامت گیاه و در دسترس بودن آب جمع‌آوری کردند که با شاخص‌های استخراج شده از داده‌های ماهواره‌ای تطبیق داده شدند.

۸-۱. تجسم و گزارش‌دهی

داشبورد سفارشی با استفاده از موتور جستجوی زمین گوگل برای تجسم یافته‌ها در قالبی شهودی توسعه داده شد. سیاست‌گذاران با بینش‌های عملیاتی، از جمله نقشه‌های تراکم پوشش گیاهی، نمودار شدت خشکسالی و مدل‌های پیش‌بینی برای برنامه‌ریزی فضاهای سبز شهری، ارائه شدند. این روش‌شناسی رویکردی جامع و چندلایه برای نظارت بر فضاهای سبز شهری را تضمین می‌کند و چارچوب قابل مقیاس برای ابتکارات شهرهای هوشمند در سراسر جهان فراهم می‌کند.

۲. مبانی نظری

۲-۱. مفهوم شهرهای هوشمند

یک شهر هوشمند محیط شهری نوآورانه‌ای است که در آن فناوری‌های پیشرفته به طور یکپارچه ادغام شده‌اند تا منابع را بهینه‌سازی کنند، کیفیت زندگی ساکنان را ارتقا دهند و پایداری را ترویج کنند. هدف اصلی شهرهای هوشمند استفاده از فناوری‌های ارتباطات و اطلاعات^۱ برای جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها است که تصمیم‌گیری بهتری را در بخش‌های مختلف مانند حمل و نقل، بهداشت، انرژی، خدمات عمومی و حکمرانی تسهیل می‌کند. این بخش‌ها با هدف افزایش کارایی عملیاتی و انعطاف‌پذیری شهرهای هوشمند طراحی شده‌اند.

شهرهای هوشمند همچنین با تعادل بین پیشرفت‌های فناوری و اصول حفاظت از محیط زیست، برابری اجتماعی و پایداری اقتصادی، پایداری درازمدت خود را تضمین می‌کنند. پایداری در توسعه شهرهای هوشمند به معنای صرفاً حفظ منابع برای نسل‌های آینده نیست، بلکه شامل طراحی شهرهای است که نیازهای امروز را برآورده می‌کنند بدون اینکه توانایی نسل‌های آینده برای برآورده کردن نیازهای خود را به خطر بیندازند. در این راستا، مفهوم پایداری به عنوان بخشی از چارچوب‌های شهرهای هوشمند با هدف توسعه پایدار سازمان ملل متحد شماره ۱۱ هماهنگ است که بر ایجاد محیط‌های شهری فراگیر، ایمن، انعطاف‌پذیر و پایدار تأکید می‌کند (Chourabi et al., 2012). با این حال، پایداری در شهرهای هوشمند فراتر از این هدف است و شامل استراتژی‌های جامع برنامه‌ریزی و توسعه شهری است که اولویت حفاظت از محیط زیست و رفاه اجتماعی را دارد.

ادغام فضاهای سبز در محیط‌های شهری نقش مهمی در دستیابی به اهداف پایداری شهرهای هوشمند دارد. فضاهای سبز شهری، از جمله پارک‌ها، باغ‌ها و گذرگاه‌های سبز، به طور قابل توجهی به بهبود اکوسیستم‌های شهری و ارتقای کیفیت زندگی ساکنان کمک می‌کنند. این فضاها اثرات منفی شهرنشینی مانند جزایر حرارتی و آلودگی هوا را کاهش می‌دهند و از تنوع زیستی حمایت می‌کنند. علاوه بر این، مزایای اجتماعی و تفریحی ارائه می‌دهند و فضایی برای تعامل، ورزش و استراحت ساکنان ایجاد می‌کنند که همبستگی اجتماعی را تقویت کرده و سلامت روانی را بهبود می‌بخشد.

یکی از نوآوری‌های مهم در مدیریت فضاهای سبز شهری در شهرهای هوشمند استفاده از فناوری‌های ژئوفضایی، به ویژه سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی است. این فناوری‌ها به برنامه‌ریزان شهری و تصمیم‌گیران امکان می‌دهند تا وضعیت و دسترسی فضاهای سبز را نظارت کنند و اطمینان حاصل کنند که به طور کارآمد مدیریت می‌شوند و مزایای آنها بهینه‌سازی می‌شود. سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی امکان نقشه‌برداری دقیق و تحلیل داده‌های فضایی را فراهم می‌کند که می‌تواند توزیع فضاهای سبز را نشان دهد، مناطق نیازمند بازسازی یا توسعه را شناسایی کند و تأثیرات محیطی آنها را ارزیابی کند. با ادغام این فناوری‌ها در برنامه‌ریزی شهری، شهرها می‌توانند استراتژی‌های داده‌محور را برای بهبود پایداری و دسترسی به مناطق سبز اجرا کنند (Li et al., 2024).

نقش نوآوری‌های ژئوفضایی در چارچوب‌های شهرهای هوشمند نه تنها برای بهبود مدیریت فضاهای سبز، بلکه برای هماهنگ‌سازی توسعه شهری با اهداف پایداری گسترده‌تر نیز حیاتی است. ابزارهای سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی به برنامه‌ریزان شهری امکان می‌دهند تا تصمیمات آگاهانه‌ای در مورد استفاده از زمین، توسعه شهری و تخصیص منابع بگیرند و اطمینان حاصل کنند که فضاهای سبز به گونه‌ای در بافت محیط شهری ادغام می‌شوند که مزایای بوم‌شناختی، اجتماعی و اقتصادی آنها به حداکثر برسد. این رویکرد از مفهوم «شهرگرایی سبز هوشمند»^۲ حمایت می‌کند، جایی که تصمیمات داده‌محور برای اطمینان از اینکه فضاهای سبز به طور موثر به پایداری و انعطاف‌پذیری کلی شهر کمک می‌کنند، اتخاذ می‌شوند (Caragliu et al., 2011).

1. ICT

2. smart green urbanism

علاوه بر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، فناوری‌های ژئوفضایی دیگر مانند سنجش از دور، سیستم تعیین موقعیت جهانی^۱ و تجزیه و تحلیل داده‌ها، نظارت و مدیریت فضاهای سبز شهری را تقویت می‌کنند. این ابزارها به ردیابی تغییرات در سلامت پوشش گیاهی، نظارت بر مصرف آب و ارزیابی کارایی زیرساخت‌های سبز کمک می‌کنند و مدیریت پیشگیرانه فضاهای سبز را امکان‌پذیر می‌سازند. با نظارت لحظه‌ای، مقامات شهری می‌توانند به سرعت با مسائل مانند بیماری‌های گیاهی، کمبود آب یا گونه‌های مهاجم مقابله کنند و اطمینان حاصل کنند که فضاهای سبز علیرغم چالش‌های ناشی از تغییرات آب و هوایی و رشد سریع شهری همچنان رونق دارند (Giffinger et al., 2007).

۲-۲. پایداری و نقش فضاهای سبز در شهرهای هوشمند

پایداری در شهرهای هوشمند به شدت با مدیریت فضاهای سبز شهری مرتبط است. وجود فضاهای سبز نه تنها از طریق کاهش حرارت شهری، بهبود کیفیت هوا و مدیریت آب‌های سطحی به پایداری محیطی کمک می‌کند، بلکه بافت اجتماعی شهر را نیز تقویت می‌کند. فضاهای سبز در دسترس و به خوبی نگهداری شده، تعاملات اجتماعی، فعالیت‌های فیزیکی و آرامش روانی را تشویق می‌کنند و به رفاه کلی ساکنان کمک می‌کنند. علاوه بر این، فضاهای سبز با ارائه فضاهایی برای جمع شدن افراد از زمینه‌های متنوع، برابری اجتماعی و انسجام را در محیط شهری ترویج می‌کنند.

شهرهای هوشمند از فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا استفاده می‌کنند تا یک اکوسیستم شهری متصل ایجاد کنند که داده‌های جمع‌آوری شده از فضاهای سبز و سایر سیستم‌های شهری، تصمیم‌گیری را آگاهانه‌تر می‌کنند. به عنوان مثال، سنسورهای تعبیه شده در فضاهای سبز می‌توانند رطوبت خاک، دما و کیفیت هوا را نظارت کنند و داده‌های لحظه‌ای را برای بهینه‌سازی مدیریت پارک‌ها و گذرگاه‌های سبز به برنامه‌ریزان شهری ارائه دهند. این رویکرد داده‌محور با اهداف گسترده‌تر توسعه شهرهای هوشمند هماهنگ است و اطمینان حاصل می‌کند که فضاهای سبز به طور کارآمد و پایدار نگهداری می‌شوند و نیازهای جمعیت را برآورده می‌کنند (Joss et al., 2017).

فضاهای سبز شهری همچنین به پایداری اقتصادی شهرهای هوشمند کمک می‌کنند. با ایجاد محیط‌های شهری جذاب و قابل سکونت، فضاهای سبز به جذب سرمایه‌گذاری، گردشگری و استعدادهای متخصص کمک می‌کنند. این مناطق می‌توانند ارزش ملک را افزایش دهند، فرصت‌های شغلی در زمینه‌های چمن‌کاری و زیرساخت‌های سبز ایجاد کنند و اقتصاد محلی را از طریق تفریح و گردشگری تحریک کنند. با برنامه‌ریزی و مدیریت استراتژیک فضاهای سبز، شهرها می‌توانند انعطاف‌پذیری و رشد اقتصادی را ترویج کنند و در عین حال پایداری محیطی و اجتماعی را ارتقا دهند (Kourtiti et al., 2012).

با ادامه تکامل مفهوم شهرهای هوشمند، ادغام فضاهای سبز در اکوسیستم‌های شهری برای ایجاد شهرهای پایدار، انعطاف‌پذیر و فراگیر ضروری خواهد بود. نوآوری‌های ژئوفضایی نقش مهمی در این فرآیند ایفا خواهند کرد و به شهرها امکان می‌دهند تا فضاهای سبز خود را به نحوی نظارت، مدیریت و ارتقا دهند که پایداری محیطی، برابری اجتماعی و پویایی اقتصادی را ترویج کند. پتانسیل فناوری‌های ژئوفضایی برای حمایت از رشد فضاهای سبز در شهرهای هوشمند بسیار زیاد است و به شهرها ابزارهایی می‌دهد تا توزیع، دسترسی و کیفیت این فضاها را بهینه کنند.

علاوه بر این، با شتاب گرفتن شهرنشینی در سطح جهانی، شهرها باید با پذیرش فناوری‌های هوشمند که از توسعه پایدار حمایت می‌کنند، سازگار شوند. مفهوم شهرهای هوشمند که بر نوآوری‌های ژئوفضایی استوار است، فرصت انقلابی برای ایجاد محیط‌های شهری فراهم می‌کند که نه تنها از نظر فناوری پیشرفته هستند، بلکه از نظر بوم‌شناختی متعادل و از نظر اجتماعی فراگیر نیز هستند. با تمرکز بر ادغام فضاهای سبز و استفاده از فناوری‌های ژئوفضایی، شهرها می‌توانند زندگی شهری را دوباره تعریف کنند و آینده‌های شهری پایدارتری ایجاد کنند که کیفیت زندگی همه ساکنان را ارتقا دهد.

در نتیجه، رابطه بین نوآوری‌های ژئوفضایی، فضاهای سبز شهری و شهرهای هوشمند برای دستیابی به توسعه شهری پایدار حیاتی است. با ادغام فناوری‌های پیشرفته در مدیریت فضاهای سبز، شهرها می‌توانند اکوسیستم‌های شهری ایجاد کنند که هم انعطاف‌پذیر و هم سازگار باشند و بتوانند چالش‌های شهرنشینی سریع و تغییرات آب و هوایی را برطرف کنند. ادغام موفقیت‌آمیز فضاهای سبز در چارچوب شهرهای هوشمند به پایداری درازمدت محیط‌های شهری کمک می‌کند و مزایای پایدار را برای ساکنان، محیط زیست و اقتصاد به ارمغان می‌آورد.

۲-۳. نقش سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در برنامه‌ریزی فضاهای سبز در چارچوب شهرهای هوشمند

در دهه‌های اخیر، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) به عنوان یکی از ارکان حیاتی در برنامه‌ریزی شهری و مدیریت فضاهای سبز، جایگاه خود را از یک ابزار کمکی صرف به یک بستر تحلیلی هوشمند ارتقاء داده‌اند. این سیستم‌ها اکنون نقشی کلیدی در طراحی و پیاده‌سازی راهبردهای شهری ایفا می‌کنند و با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین مانند سنجش از دور، علوم کامپیوتر، فناوری اطلاعات و پلتفرم‌های موبایل و وب، به ابزاری چندوجهی برای تحلیل فضایی و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده تبدیل شده‌اند (Costa et al., 2024; Naidu, 2018).

GIS با فراهم‌سازی امکان ادغام داده‌های متنوع از جمله تصاویر ماهواره‌ای، آمار جمعیتی، و شاخص‌های محیطی، بستری جامع برای پایش و ارزیابی توزیع، کیفیت و سلامت فضاهای سبز شهری فراهم می‌کند. از طریق این قابلیت‌ها، برنامه‌ریزان می‌توانند نواحی دارای کمبود فضای سبز را شناسایی کرده و اقدامات هدفمند و عدالت‌محور برای توزیع بهتر این منابع حیاتی را طراحی کنند. تحلیل‌هایی نظیر شاخص NDVI، امکان رصد سلامت پوشش گیاهی در بستر زمانی را فراهم کرده و به شناسایی چالش‌هایی مانند آلودگی، گسترش بی‌رویه شهری و تغییرات اقلیمی کمک می‌کنند. چنین تحلیلی برای پاسخ‌گویی به موقع و اثربخش در مدیریت فضاهای سبز، امری حیاتی به شمار می‌رود (Turek & Stępnik, 2021).

فراتر از تحلیل‌های فنی، GIS نقش مهمی در ارتقای مشارکت اجتماعی نیز ایفا می‌کند. با در دسترس قرار دادن داده‌های مکانی از طریق ابزارهای نقشه‌برداری تعاملی و پلتفرم‌های شهروندمحور، امکان مشارکت مستقیم ساکنان در تصمیم‌گیری‌های محلی فراهم می‌شود. این مشارکت نه تنها به بهبود بهره‌وری مدیریتی می‌انجامد، بلکه حس تعلق، انسجام اجتماعی و اعتماد عمومی را نیز تقویت می‌کند.

در سطح کلان، نقش سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در چارچوب شهرهای هوشمند فراتر از برنامه‌ریزی فضاهای سبز است. این فناوری به‌عنوان زیرساختی یکپارچه، ظرفیت آن را دارد که عناصر کلیدی شهر هوشمند نظیر انرژی سبز، حمل‌ونقل پایدار، مدیریت ریسک، امنیت غذایی و کیفیت محیطی را در قالب یک ساختار تحلیلی منسجم گردآورد. تجربیات موفق شهرهایی مانند آمستردام و دبی در بهره‌گیری از GIS برای تقویت حکمرانی داده‌محور و توسعه پایدار، نشان از ظرفیت بالای این فناوری در مواجهه با چالش‌های پیچیده شهری دارد (Moura & de Abreu e Silva, 2021).

در مجموع، GIS نه تنها ابزاری برای نمایش داده‌های فضایی، بلکه بستری هوشمند برای مدیریت تطبیقی و تصمیم‌گیری استراتژیک در بستر شهری معاصر است. در دنیایی که پایداری، تاب‌آوری و عدالت فضایی به دغدغه‌های اصلی مدیریت شهری بدل شده‌اند، استفاده هدفمند و چندلایه از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، ضرورتی انکارناپذیر برای آینده‌ای زیست‌پذیر و هوشمند است.

۲-۴. نقش سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در ابزارهای شهرهای هوشمند

اثربخشی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در توانایی پردازش و ارائه دقیق داده‌ها نهفته است. سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی شامل سخت‌افزار، نرم‌افزار، داده‌ها و برنامه‌های کاربردی است و از طریق قابلیت‌هایی مانند ورودی داده‌ها، ذخیره‌سازی، ارائه

خروجی، تبدیل و تعامل کاربر، تصمیم‌گیری را پشتیبانی می‌کند. سخت‌افزار شامل دستگاه‌هایی برای ورود داده‌ها (اسکرها، دیجیتایزرها)، ذخیره‌سازی (دیسک‌های سخت) و خروجی (مانیتورها، چاپگرها) است. جمع‌آوری و سازماندهی داده‌ها برای موفقیت سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی حیاتی است، زیرا داده‌های فضایی اغلب به دقت و کامل بودن قابل توجهی برای پشتیبانی از تحلیل‌های عمیق نیاز دارند (Turek & Stepniak, 2021).

برای متمایز شدن از سیستم‌های نقشه‌برداری سنتی و کد، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی قابلیت‌هایی مانند بازیابی داده‌های فضایی، لایه‌بندی جغرافیایی و تحلیل منطقه‌ای را ارائه می‌دهد. انعطاف‌پذیری برای برآورده کردن نیازهای متنوع کاربران ضروری است. ادغام سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی با سیستم‌های اینترنت اشیا در شهرهای هوشمند امکان نظارت و بهینه‌سازی کارآمد فضاهای سبز را فراهم می‌کند و تنوع زیستی را تقویت می‌کند و کیفیت زندگی ساکنان شهری را بهبود می‌بخشد. چنین ادغامی محیط‌های انعطاف‌پذیر و پایدار را ایجاد می‌کند که به نیازهای جامعه به طور موثر پاسخ می‌دهند و هماهنگی بوم‌شناختی را ترویج می‌کنند.

یک چارچوب سازمانی برای اجرای مفاهیم شهرهای هوشمند در مدیریت پویای شهری حیاتی است. ابزارهای مختلف اینترنت اشیا و سیستم‌های IT که توسط واحدهای سازمانی استفاده می‌شوند، نیاز به هماهنگی دارند تا از استقرار مؤثر اطمینان حاصل شود. ایجاد یک نهاد هماهنگ کننده مرکزی به مدیریت ادغام ابزارهای سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و فناوری‌های شهرهای هوشمند کمک می‌کند. با رشد این فناوری‌ها، می‌توان آنها را از چندین دیدگاه مشاهده کرد که توسط هیئت‌های شهری شکل می‌گیرد و پروژه‌هایی را بر اساس نیازهای بخش‌های مختلف آغاز می‌کنند (Naidu, 2018). پلتفرم‌های مبتنی بر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی داده‌ها را از منابع مختلف ادغام می‌کنند و لایه‌های موضوعی را برای تحلیل فضایی و تصمیم‌گیری یکپارچه ایجاد می‌کنند.

۲-۵. نقش حیاتی فضاهای سبز شهری در ارتقای زیست‌پذیری و پایداری شهرها

فضاهای سبز شهری، شامل پارک‌ها، باغ‌ها، بوستان‌ها و راهروهای سبز، عناصر بنیادی در ارتقای کیفیت زندگی شهری و دستیابی به توسعه پایدار به‌شمار می‌آیند. این فضاها نه تنها مزایای محیط‌زیستی آشکاری نظیر بهبود کیفیت هوا، کاهش جزایر حرارتی شهری و کنترل رواناب‌های سطحی فراهم می‌آورند، بلکه به شکلی معنادار در ارتقای سلامت روانی، افزایش رفاه اجتماعی و تقویت انسجام جامعه‌ای نیز نقش ایفا می‌کنند. پوشش‌های گیاهی در ساختار شهری به‌مثابه سپری طبیعی در برابر آلودگی‌ها عمل کرده و به حفظ تعادل اکولوژیکی در مناطق پرجمعیت کمک می‌کنند.

از منظر اجتماعی، فضاهای سبز بستری برای شکل‌گیری تعاملات اجتماعی، ارتقای سرمایه اجتماعی و تسهیل فعالیت‌های تفریحی، فرهنگی و جسمانی هستند. شواهد متقن نشان می‌دهد که دسترسی به فضاهای سبز، کاهش سطح استرس، افزایش احساس تعلق مکانی و بهبود سلامت روان ساکنان را به همراه دارد. این فضاها همچنین از طریق تقویت مشارکت‌های جمعی، به ایجاد شهرهایی انسان‌محورتر و تاب‌آورتر در برابر بحران‌های اجتماعی و محیطی کمک می‌کنند.

با گسترش افقی شهرها، به‌ویژه در بستر تحولات مرتبط با شهرهای هوشمند، مدیریت کارآمد فضاهای سبز اهمیت دوچندانی یافته است. فناوری‌های مکانی از جمله سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و ابزارهای سنجش از دور، امکانات نوینی برای پایش، طراحی، تحلیل و بهینه‌سازی این فضاها در اختیار برنامه‌ریزان قرار داده‌اند. استفاده از این ابزارها امکان شناسایی نواحی دارای کمبود فضای سبز، سنجش سلامت پوشش گیاهی، ارزیابی میزان بهره‌برداری، و حتی پیش‌بینی تغییرات ناشی از گسترش شهری را فراهم می‌کند. این بینش داده‌محور، مبنایی علمی برای تصمیم‌گیری‌های راهبردی در حوزه مدیریت محیط‌زیست شهری ایجاد می‌کند.

در شهرهایی مانند بغداد که سابقه فرهنگی و اجتماعی بهره‌گیری از فضاهای سبز را دارا هستند، اهمیت این فضاها دوچندان می‌شود. در دهه‌های گذشته، بسیاری از فضاهای سبز عمومی در این شهر دچار تخریب یا تغییر کاربری شده‌اند و جای خود را به توسعه‌های تجاری یا ساخت‌وسازهای بی‌رویه داده‌اند؛ امری که منجر به کاهش کیفیت تعاملات اجتماعی و از هم‌گسیختگی ساختار جامعه شهری شده است. مطالعات اخیر نشان می‌دهند که فضاهای سبز موجود در بغداد، از منظر کیفیت طراحی، نگهداری و دسترسی‌پذیری، نیازهای روزافزون جمعیت شهری را برآورده نمی‌کنند.

در این بستر، فناوری‌های مکانی نظیر Google Earth Engine، سامانه‌های پایش پوشش گیاهی و تحلیل مکانی در GIS می‌توانند نقش کلیدی در احیای فضاهای سبز ایفا کنند. با بهره‌گیری از این فناوری‌ها، امکان تحلیل‌های چندبُعدی در زمینه کیفیت محیطی، مصرف منابع، تنوع زیستی و الگوهای استفاده از فضا فراهم می‌شود. این امر نه تنها به بهینه‌سازی مصرف منابعی همچون آب و انرژی کمک می‌کند، بلکه آگاهی عمومی درباره اهمیت حفاظت از فضاهای سبز را نیز ارتقا می‌بخشد.

علاوه بر این، تلفیق اصول طراحی شهری پایدار با نوآوری‌های فناوری‌ها می‌تواند به خلق محیط‌هایی منجر شود که تعاملات اجتماعی، عدالت فضایی و سلامت عمومی را در قلب برنامه‌ریزی شهری قرار می‌دهند. عناصر کلیدی همچون ایمنی، قابلیت دسترسی، تنوع کاربری و طراحی انسان‌محور، نقشی تعیین‌کننده در اثربخشی عملکرد اجتماعی فضاهای سبز دارند.

روش‌های ساخت‌وساز سبز، به‌عنوان یکی از ارکان شهرهای هوشمند، نیز می‌توانند در جهت هم‌افزایی با فضاهای سبز عمل کنند. این رویکردها ضمن کاهش آثار زیست‌محیطی توسعه شهری، بهره‌وری انرژی را افزایش داده و هزینه‌های نگهداری را کاهش می‌دهند؛ مسأله‌ای که به‌ویژه در مناطق با محدودیت منابع، نظیر بسیاری از شهرهای خاورمیانه، حائز اهمیت است.

در نهایت، فضاهای سبز شهری، فراتر از نقش زیباسازی، به‌عنوان زیرساخت‌های حیاتی برای تاب‌آوری اکولوژیکی، سلامت جامعه و توسعه پایدار شهری محسوب می‌شوند. مدیریت مبتنی بر داده و آینده‌نگر این فضاها، به‌ویژه با بهره‌گیری از سامانه‌های هوشمند و تحلیل‌های مکان‌محور، مسیر موثری برای ارتقای کیفیت زندگی در شهرهای امروزی و فردا فراهم می‌سازد. ایجاد توازن میان ملاحظات اکولوژیکی، اجتماعی و فناوری‌ها در این حوزه، شرط اساسی تحقق شهری پایدار، مقاوم و انسان‌محور است.

۲-۶. نوآوری‌های مکانی در مدیریت فضای سبز

با تکامل شهرها به سمت شهرهای هوشمند، مدیریت فضاهای سبز شهری به طور فزاینده‌ای به نوآوری‌های فناوری‌ها وابسته می‌شود. ابزارهای مکانی مانند سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، همراه با فناوری‌های نقشه‌برداری پیشرفته مانند سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، به برنامه‌ریزان شهری داده‌های دقیقی در مورد مکان، کیفیت و استفاده از فضاهای سبز ارائه می‌دهند. سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی امکان تحلیل فضایی فضاهای سبز را فراهم می‌کند که به برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا توزیع این فضاها در مناطق شهری را تجسم کنند و دسترسی‌پذیری، وضعیت و پتانسیل بهبود آنها را ارزیابی کنند.

از طریق نظارت لحظه‌ای و ادغام فناوری‌های هوشمند، برنامه‌ریزان شهری می‌توانند تغییرات در فضاهای سبز را ردیابی کنند و تصمیمات آگاهانه در مورد نگهداری و ارتقای آنها اتخاذ کنند. به عنوان مثال، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی می‌تواند به نظارت بر سلامت پوشش گیاهی، شناسایی گونه‌های مهاجم و ارزیابی اثربخشی شیوه‌های مدیریت فضای سبز کمک کند. علاوه بر این، حسگرهای هوشمند تعبیه شده در پارک‌ها می‌توانند شرایط محیطی مانند دما، رطوبت و کیفیت هوا را ردیابی کنند و داده‌های لحظه‌ای را برای اطلاع‌رسانی استراتژی‌های مدیریت فراهم کنند (Hyder & Haque, 2022).

یکی از مزایای مهم استفاده از نوآوری‌های مکانی در مدیریت فضای سبز، توانایی ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی فضاهای سبز شهری است. با استفاده از ابزارهایی مانند موتور جستجوی زمین گوگل، برنامه‌ریزان شهری می‌توانند نقش فضاهای سبز در کاهش گرمای شهری، مدیریت آب‌های سطحی و بهبود کیفیت هوا را ارزیابی کنند. با نظارت مداوم بر این فضاها، شهرها

می‌توانند به چالش‌های محیطی نوظهور مانند افزایش بسامد موج‌های گرما یا بارش‌های شدید به طور پیشگیرانه پاسخ دهند. علاوه بر این، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی می‌تواند مدیریت منابع مانند بهینه‌سازی آبیاری و کاهش مصرف آب از طریق نقشه‌برداری دقیق الگوهای استفاده از آب را به نحو بهتری تسهیل کند.

۲-۷. فضاهای سبز در چارچوب شهر هوشمند: آینده‌ای پایدار برای شهرها

با گسترش مفهوم شهر هوشمند، ادغام فناوری‌های نوآورانه با فضاهای سبز شهری به ضرورتی بنیادین در مسیر توسعه پایدار بدل شده است. شهرهای هوشمند با تکیه بر داده‌های مکانی و ابزارهای دیجیتال، امکان بهینه‌سازی طراحی، توزیع و مدیریت فضاهای سبز را فراهم می‌سازند؛ این فرآیند نه تنها ارتقای کیفیت زیست‌محیطی را هدف می‌گیرد، بلکه تعاملات اجتماعی، انسجام محله‌ای و تاب‌آوری شهری را نیز تقویت می‌کند (Sabil, 2021).

در زمینه‌هایی مانند شهر بغداد که با رشد بی‌رویه، زوال محیطی و فقدان زیرساخت‌های سبز مواجه‌اند، بهره‌گیری از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور می‌تواند بازآفرینی فضایی و عدالت در توزیع کاربری‌ها را محقق کند. این فناوری‌ها امکان شناسایی نواحی متروکه، بازطراحی کاربری‌ها و برنامه‌ریزی مبتنی بر تقاضا را فراهم می‌آورند و به شکل‌گیری اکوسیستم شهری هوشمند، پایدار و عادلانه کمک می‌کنند (Mukundan et al., 2025).

هم‌زمان، استفاده از زیرساخت‌های پایدار نظیر بام‌های سبز، باغ‌های شهری و مصالح سازگار با محیط زیست در بستر ساخت‌وساز هوشمند، موجب افزایش مقاومت در برابر تغییرات اقلیمی و ارتقای سلامت اجتماعی می‌شود. چنین رویکردی نشان می‌دهد که تلفیق اصول طراحی پایدار با فناوری‌های مکانی می‌تواند به شکل‌گیری جوامعی پویاتر، سالم‌تر و مقاوم‌تر منجر شود (Hyder & Haque, 2022).

در نهایت، فضاهای سبز شهری در ساختار شهرهای هوشمند تنها عناصر زیبایی‌شناختی یا تفریحی نیستند؛ بلکه به ابزاری راهبردی برای تحقق پایداری اکولوژیک، انسجام اجتماعی و بهبود کیفیت زندگی شهروندان تبدیل شده‌اند. فناوری‌های مکانی همچون GIS و سنجش از دور، به عنوان ستون فقرات این تحول، به تصمیم‌گیران این امکان را می‌دهند تا با اتکا بر داده‌های واقعی، محیط‌های شهری منعطف، زیست‌پذیر و آینده‌نگر طراحی کنند (Sabil, 2021; Mukundan et al., 2025).

۲-۸. نقش فناوری سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در استراتژی‌های مدیریت فضای سبز

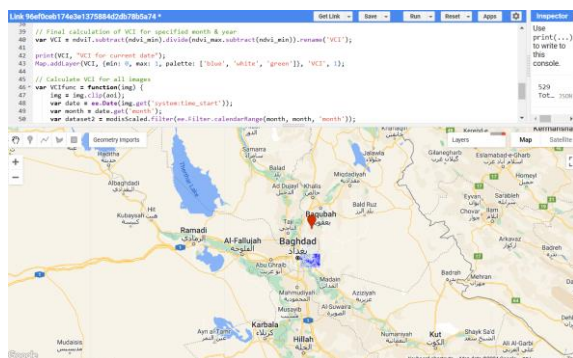
مدیریت فضای سبز شهری نقش حیاتی در ارتقای کیفیت زندگی در شهرهای در حال شهرنشینی سریع دارد. در زمینه شهرهای هوشمند، ادغام سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و فناوری‌های پیشرفته مانند برنامه‌نویسی پایتون برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، تصاویر ماهواره‌ای و سیستم‌های اینترنت اشیا گام نوآورانه‌ای در جهت برنامه‌ریزی شهری کارآمد و پایدار است. این رویکرد عملی، روش‌های مکانی نوآورانه را با نظارت لحظه‌ای ترکیب می‌کند تا سلامت و تاب‌آوری فضاهای سبز را تضمین کند، که برای حفظ تعادل اکولوژیکی و بهبود رفاه شهری حیاتی هستند (Caragliu et al., 2011).

در مورد خاص بغداد، عراق، یک سیستم نظارت مبتنی بر پایتون که از طریق موتور جستجوی زمین گوگل پیاده‌سازی شده است، از داده‌های ماهواره‌ای برای ردیابی و تحلیل فضاهای سبز شهری با استفاده از شاخص‌های کلیدی پوشش گیاهی، به ویژه شاخص تفاضل نرمال پوشش گیاهی و شاخص سلامت پوشش گیاهی استفاده می‌کند. این شاخص‌ها ابزارهای قدرتمندی برای ارزیابی وضعیت و شرایط پوشش گیاهی هستند و درک جامعی از عملکرد مناطق سبز شهری از نظر سلامت، تراکم و استرس محیطی ارائه می‌دهند.

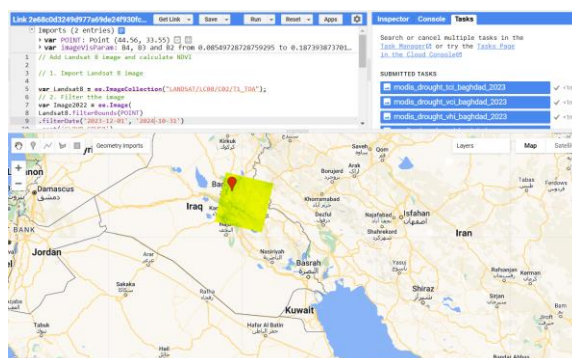
۲-۹. ادغام برنامه‌نویسی پایتون با موتور جستجوی زمین گوگل

پایتون، یک زبان برنامه‌نویسی منبع باز و انعطاف‌پذیر، به طور فزاینده‌ای در تجزیه و تحلیل مکانی برای اتوماسیون جریان‌های کاری و انجام تجزیه و تحلیل داده‌های پیچیده استفاده می‌شود. در این تحقیق، پایتون برای نوشتن اسکریپت‌هایی استفاده شد که با موتور جستجوی زمین گوگل تعامل دارند، که دسترسی به مخزن عظیمی از تصاویر ماهواره‌ای را فراهم می‌کند. موتور جستجوی زمین گوگل داده‌های ماهواره‌ای لحظه‌ای و تاریخی را ارائه می‌دهد که می‌تواند برای نظارت بر پویایی پوشش گیاهی، رشد شهری و تغییرات کاربری زمین در طول زمان استفاده شوند.

با استفاده از کتابخانه‌های پایتون مانند GeoPandas، Rasterio و API Earth Engine، تجزیه و تحلیل سلامت پوشش گیاهی به صورت روان و خودکار انجام شد. این کتابخانه‌ها امکان پردازش داده‌های مکانی را فراهم می‌کنند و امکان تجزیه و تحلیل مجموعه داده‌های بزرگ را به طور کارآمد میسر می‌کنند. از طریق پایتون، اسکریپت‌هایی توسعه داده شدند تا به طور خودکار تصاویر ماهواره‌ای را استخراج کنند، شاخص‌های پوشش گیاهی مانند NDVI و VHI را محاسبه کنند و گزارش‌های تفصیلی در مورد وضعیت فضاهای سبز شهری بغداد تولید کنند. این پروسه در شکل ۲ آورده شده است.



(ب)



(الف)

شکل ۲. کدنویسی شاخص‌های: الف) NDVI و ب) VHI در فضای موتور جستجوی زمین گوگل

۳. بحث و نتایج

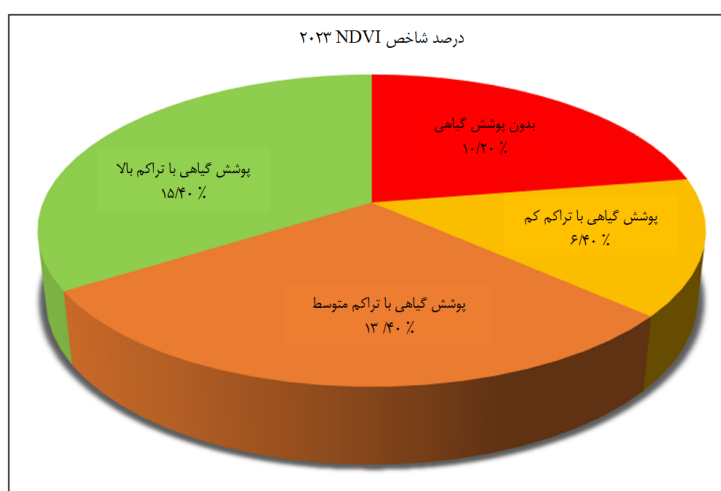
۳-۱. تحلیل تراکم پوشش گیاهی با شاخص NDVI

یکی از مهم‌ترین گام‌های این پژوهش، ارزیابی وضعیت پوشش گیاهی شهری بغداد با استفاده از شاخص تفاضل نرمال پوشش گیاهی (NDVI) است. این شاخص به عنوان ابزار استاندارد سنجش تراکم سبزی‌نگی، اطلاعات دقیقی درباره سطح سلامت گیاهان و توزیع فضایی آن‌ها ارائه می‌دهد. مقادیر NDVI بین -۱ تا +۱ متغیر است و اعداد نزدیک به یک، بیانگر پوشش گیاهی سالم و متراکم، و مقادیر منفی نشان‌دهنده پوشش غیربیولوژیک مانند ساختمان و آسفالت هستند.

بر اساس نتایج به دست آمده از داده‌های سال ۲۰۲۳، طبقه‌بندی پوشش گیاهی در شهر بغداد در چهار گروه انجام شد که در جدول ۱ و نیز در نمودار ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱. توزیع درصدی طبقات مختلف NDVI در شهر بغداد در سال ۲۰۲۳

NDVI سال ۲۰۲۳	
کلاس‌های پوشش گیاهی	درصد سطح
بدون پوشش گیاهی	۱۰/۲۰٪ از مساحت کل شهر
پوشش گیاهی با تراکم کم	۶/۴۰٪
پوشش گیاهی با تراکم متوسط	۱۳/۴۰٪
پوشش گیاهی با تراکم بالا	۱۵/۴۰٪



شکل ۳. نمودار توزیع NDVI در شهر بغداد

یافته‌های فوق نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از سطح شهر (بیش از ۶۰٪) از پوشش گیاهی ضعیف یا بدون پوشش رنج می‌برد. این مسئله به‌ویژه در مناطق پرتراکم و توسعه‌یافته شهری مشهود است. در مقابل، سهم مناطق دارای پوشش گیاهی متراکم کمتر از یک‌ششم کل شهر است، که زنگ خطری برای سلامت اکولوژیکی محیط شهری به شمار می‌آید.

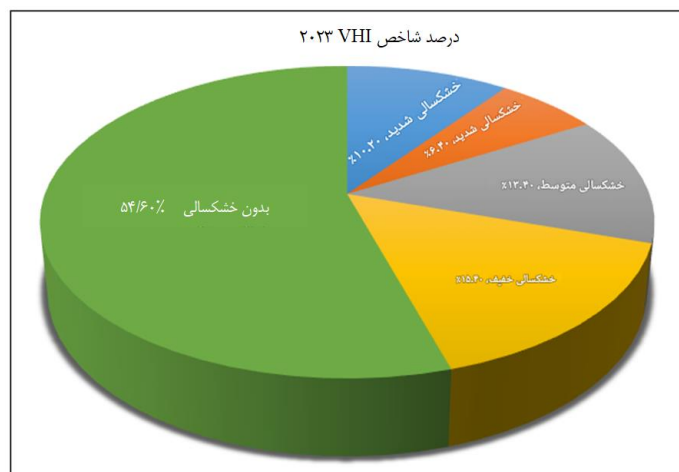
۲-۳. تحلیل شدت خشکسالی با استفاده از شاخص VHI

شاخص سلامت پوشش گیاهی (VHI) به‌منظور تحلیل ترکیبی دو عامل مهم یعنی وضعیت دمای سطح و شاخص سلامت گیاه، برای شناسایی تنش‌های محیطی از جمله خشکسالی به‌کار گرفته شد. هدف اصلی از این تحلیل، بررسی پایداری پوشش سبز در برابر تنش‌های اقلیمی و تعیین میزان تاب‌آوری مناطق مختلف شهری است.

بر اساس تحلیل داده‌های سال ۲۰۲۳، نتایج شاخص VHI به شرح جدول ۲ می‌باشد. همچنین در شکل ۴ نیز درصد توزیع شاخص VHI در شهر بغداد، در قالب نمودار نشان داده شده است.

جدول ۲. طبقات شدت خشکسالی بر اساس VHI در شهر بغداد در سال ۲۰۲۳

شاخص سلامت پوشش گیاهی (VHI) - سال ۲۰۲۳	
سطوح خشکسالی پوشش گیاهی	درصد سطح
خشکسالی شدید و بحرانی (Extreme Drought)	۱۰/۲۰ %
خشکسالی شدید (Severe Drought)	۶/۴۰ %
خشکسالی متوسط (Moderate Drought)	۱۳/۴۰ %
خشکسالی خفیف (Mild Drought)	۱۵/۴۰ %
بدون خشکسالی (No Drought)	۵۴/۶۰ %



شکل ۴: درصد توزیع شاخص VHI در شهر بغداد

یافته‌ها حاکی از آن است که در حدود ۴۵ درصد از کل مساحت شهر بغداد، سطوحی از خشکسالی در محدوده زمانی مورد مطالعه، تجربه شده است که می‌تواند اثربخشی پوشش گیاهی را در این مناطق به شدت تضعیف کند. این امر لزوم برنامه‌ریزی برای استقرار گونه‌های مقاوم به خشکسالی و به‌کارگیری سامانه‌های آبیاری هوشمند را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

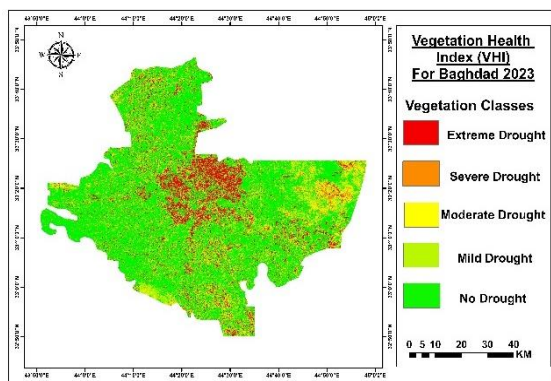
۳-۳. تحلیل هم‌پوشانی NDVI و VHI: شناسایی نواحی بحرانی

ترکیب دو شاخص NDVI و VHI این امکان را فراهم کرد تا نواحی بحرانی که هم از نظر تراکم پوشش گیاهی در وضعیت نامطلوب قرار دارند و هم دچار خشکسالی شدید هستند، شناسایی شوند. این تحلیل لایه‌ای به‌صورت مکانی، مناطقی را برجسته کرد که نیازمند مداخلات فوری در حوزه بازسازی و احیای سبز شهری هستند. بر اساس تحلیل‌های مکانی، بخش قابل توجهی از این مناطق، در عین تراکم پایین پوشش گیاهی، دچار تنش شدید خشکسالی نیز هستند. این یافته‌ها مستقیماً می‌توانند مبنای تصمیم‌سازی برای تخصیص منابع و اجرای پروژه‌های سبزسازی هدفمند باشند.

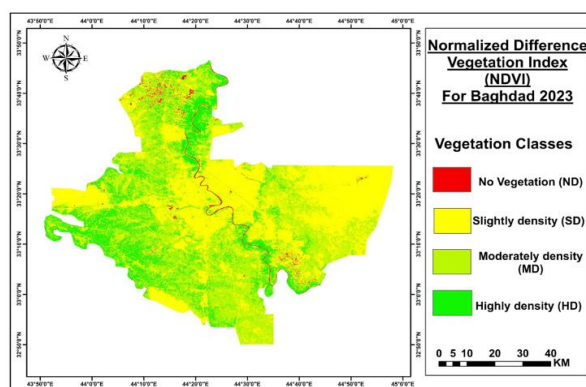
۳-۴. یکپارچه‌سازی تحلیل‌های مکانی با فناوری اینترنت اشیاء (IoT)

در چارچوب شهر هوشمند، کارآمدسازی مدیریت فضای سبز نیازمند زیرساخت‌هایی برای پایش لحظه‌ای شرایط محیطی است. در این پژوهش، داده‌های مکانی با داده‌های حسگرهای محیطی از جمله سنسور رطوبت خاک، دمای سطح و کیفیت هوا که توسط سامانه اینترنت اشیاء فراهم شد، تلفیق گردید.

این ادغام داده‌های امکان مدل‌سازی پویا و ارائه هشدارهای پیشگیرانه را فراهم می‌سازد. نتایج حاصل از این سامانه ترکیبی، نشان داد که می‌توان با تحلیل بلادرنگ داده‌ها، هم تغییرات پوشش گیاهی را پیش‌بینی کرد و هم بازخورد لازم برای تنظیم الگوهای آبیاری و مداخلات شهری را ارائه داد. در شکل ۵، یک نمونه از خروجی نهایی سیستم که با شاخص NDVI و VHI نشان داده می‌شود، نمایش داده شده است.



(ب)



(الف)

شکل ۵. ساختار ادغام داده‌های مکانی و محیطی در سامانه پایش فضای سبز شهر بغداد با توجه به شاخص‌های: (الف) NDVI و (ب) VHI

جمع‌بندی تحلیلی نتایج

یافته‌های این پژوهش در چهار محور زیر خلاصه می‌شوند:

وضعیت تراکم پوشش گیاهی: عمدتاً متوسط تا ضعیف، با نیاز فوری به بازطراحی سبز.

شدت خشکسالی: حدود ۴۵ درصد از شهر دچار درجات مختلف خشکسالی است.

نواحی بحرانی: نقاطی با هم‌زمانی خشکسالی شدید و پوشش گیاهی ضعیف شناسایی شدند.

قابلیت شهر هوشمند: یکپارچه‌سازی داده‌های مکانی و محیطی با IoT بستری پیشرفته برای پایش لحظه‌ای، تحلیل تصمیم‌محور و توسعه پایدار فراهم می‌آورد.

۴. چالش‌ها و فرصت‌های راهبردی

تحقق مدیریت کارآمد فضاهای سبز شهری در چارچوب شهرهای هوشمند، به‌ویژه در کلان‌شهرهایی با زمینه‌های پیچیده سیاسی، اقتصادی و زیست‌محیطی مانند بغداد، مستلزم غلبه بر مجموعه‌ای از چالش‌های ساختاری، فناورانه و داده‌محور است. در عین حال، این مسیر با فرصت‌های راهبردی نیز همراه است که در صورت بهره‌برداری هوشمندانه، می‌توانند به ارتقای سطح حکمرانی محیطی و کیفیت زیست‌پذیری شهری منجر شوند.

۴-۱. چالش‌های اصلی

۴-۱-۱. ضعف در اعتبارسنجی زمینی داده‌های سنجش از دور

اتکای صرف به داده‌های ماهواره‌ای بدون پشتیبانی از داده‌های میدانی دقیق، منجر به نادیده‌گیری متغیرهای بوم‌شناختی نظیر نوع خاک، شرایط رطوبتی و تنوع زیستی محلی می‌شود. این خلأ، دقت تحلیل‌ها و صحت تصمیم‌گیری‌های محیط‌زیستی را تضعیف می‌کند.

۴-۱-۲. محدودیت‌های زیرساختی و منابع انسانی

شهر بغداد با چالش‌های اقتصادی و محدودیت‌های زیرساختی مواجه است که مانع از پیاده‌سازی گسترده و نگهداری سامانه‌های مکانی-فضایی پیشرفته می‌شود. کمبود نیروی متخصص برای مدیریت این سامانه‌ها نیز این معضل را تشدید می‌کند.

۴-۱-۳. فقدان پلتفرم‌های یکپارچه و انطباق‌پذیر مکانی-فضایی

نبود یک بستر جامع برای ادغام، تحلیل و مدل‌سازی داده‌های لحظه‌ای و پیش‌بینی، موجب دشواری در مدیریت یکپارچه فضاهای سبز می‌شود. طراحی چنین پلتفرمی مستلزم غلبه بر پیچیدگی‌های فنی و هماهنگی میان ذی‌نفعان است.

۴-۱-۴. محدودیت دسترسی به داده‌های ماهواره‌ای با وضوح بالا

نقائص موجود در پوشش زمانی و مکانی تصاویر ماهواره‌ای - به‌ویژه در شرایط آب‌وهوایی چالش‌برانگیز بغداد نظیر گردوغبارهای تابستانی - دقت و بهنگام‌بودن تحلیل‌های پوشش گیاهی را با مشکل مواجه می‌کند.

۴-۱-۵. ناهمگونی منابع داده و دشواری در ادغام

ادغام داده‌های متنوع از منابع مختلف (از NDVI و VHI گرفته تا داده‌های محیطی سطح زمین)، با چالش‌هایی همچون تفاوت در فرمت‌ها، مقیاس‌ها و دقت‌ها مواجه است که به ناسازگاری اطلاعات و تضعیف فرآیند تصمیم‌سازی می‌انجامد.

۴-۲. فرصت‌های راهبردی آینده

۴-۲-۱. بهره‌گیری از اینترنت اشیا برای پایش لحظه‌ای محیطی

استفاده از حسگرهای IoT در سطح فضاهای سبز شهری امکان پایش زنده متغیرهایی چون دمای خاک، کیفیت هوا و رطوبت را فراهم می‌کند. این داده‌ها در صورت ادغام با شاخص‌هایی مانند NDVI و VHI، می‌توانند به هشداردهی هوشمند برای آبیاری یا مداخلات زیست‌محیطی منجر شوند.

۴-۲-۲. توانمندسازی تحلیل‌های پیش‌بینی با هوش مصنوعی و پایتون

استفاده از ابزارهایی نظیر Rasterio، GeoPandas و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، امکان تحلیل روندهای پوشش گیاهی و پیش‌بینی تغییرات آن را فراهم می‌سازد؛ امری که در طراحی مداخلات پیشگیرانه و سازگار با تغییرات اقلیمی بسیار کلیدی است.

۴-۲-۳. مشارکت شهروندان در گردآوری داده‌های محیطی

افزایش مشارکت عمومی از طریق اپلیکیشن‌های موبایلی می‌تواند داده‌های میدانی ارزشمندی درباره وضعیت گیاهان و خاک در اختیار قرار دهد و به تکمیل بانک‌های اطلاعاتی کمک کند. این راهبرد حس تعلق شهروندی و مسئولیت‌پذیری زیست‌محیطی را نیز تقویت می‌کند.

۴-۲-۴. توسعه همکاری‌های چندبخشی و فرابخشی

ایجاد پیوند میان نهادهای دولتی، دانشگاه‌ها، نهادهای بین‌المللی و شرکت‌های فناورانه، بستر مناسبی برای انتقال دانش، تجهیز منابع و ظرفیت‌سازی نیروی انسانی فراهم می‌آورد.

۴-۲-۵. ارتقای کیفیت تصمیم‌گیری از طریق تجسم مکانی داده‌ها

طراحی داشبوردهای تعاملی و بصری (نظیر Google Earth Engine) برای نمایش لحظه‌ای شاخص‌های کلیدی مانند NDVI، پوشش سبز و خشکسالی، ابزارهای سیاست‌گذاری را شفاف‌تر، کاربردی‌تر و در دسترس‌تر می‌سازد.

۴-۳. استراتژی‌های مبتنی بر نتایج

با استفاده از سیستم‌های پایش NDVI و VHI در بغداد، مشخص است که ابزارهای مکانی-فضایی می‌توانند پوشش گیاهی را به دسته‌های متمایز طبقه‌بندی کنند و بینشی در مورد تراکم و سلامت فضاهاى سبز ارائه دهند. به عنوان مثال، داده‌های NDVI برای سال ۲۰۲۳ نشان داد:

- ۱/۲ درصد از زمین بدون پوشش گیاهی
 - ۳۹/۳ درصد با پوشش گیاهی با تراکم کم
 - ۴۲/۶ درصد با پوشش گیاهی با تراکم متوسط
 - ۱۷ درصد با پوشش گیاهی با تراکم بالا
- به همین ترتیب، معیارهای VHI درک روشنی از تأثیرات خشکسالی ارائه داد:
- شرایط خشکسالی شدید و بحرانی در ۱۰/۲ درصد از منطقه
 - خشکسالی شدید در ۶/۴ درصد
 - خشکسالی متوسط در ۱۳/۴ درصد
 - خشکسالی خفیف در ۱۵/۴ درصد
 - بدون خشکسالی در ۵۴/۶ درصد

این یافته‌ها پتانسیل عملی یک سیستم پایش جامع را نشان می‌دهد که نه تنها پویایی پوشش گیاهی را ردیابی می‌کند، بلکه با اهداف گسترده‌تر شهرهای هوشمند نیز هماهنگ است.

پاسخگویی به چالش‌ها و استفاده از فرصت‌های فناوری‌های مکانی-فضایی در مدیریت فضاهاى سبز شهری، نیازمند یک رویکرد راهبردی چندوجهی است. با ترکیب فناوری‌های پیشرفته با مشارکت جامعه و همکاری نهادی، شهرهای می‌توانند مسیر توسعه پایدار شهری را هموار کنند. تلاش‌های بغداد یک الگوی نمونه برای سایر مراکز شهری است که در تلاش برای تعادل بین یکپارچگی بوم‌شناختی و شهرنشینی سریع هستند.

۵. نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف ارائه‌ی چارچوبی برای پایش و مدیریت فضای سبز شهری در بستر شهرهای هوشمند، با استفاده از شاخص‌های NDVI و VHI و ادغام آن‌ها با داده‌های بلادرنگ حاصل از اینترنت اشیا، بر روی شهر بغداد متمرکز شد. نتایج این پژوهش نشان داد که بخش عمده‌ای از مناطق شهری بغداد دارای پوشش گیاهی کم یا بدون پوشش هستند و در عین حال، درصد قابل توجهی از این نواحی تحت تأثیر خشکسالی در سطوح مختلف قرار دارند. تحلیل هم‌پوشانی این شاخص‌ها، نواحی بحرانی را مشخص ساخت که به مداخلات فوری در قالب بازسازی فضای سبز و برنامه‌ریزی مجدد نیاز دارند.

این نتایج حاکی از آن است که تلفیق تحلیل‌های مکانی و سامانه‌های حسگر بلادرنگ می‌تواند راهکاری کارآمد برای مدیریت تطبیقی منابع محیطی و به‌ویژه فضای سبز شهری فراهم آورد. چارچوب پیشنهادی پژوهش، نه تنها برای بغداد، بلکه به‌عنوان مدلی قابل تعمیم برای شهرهای دیگر خاورمیانه که با چالش‌های مشابهی نظیر گرمایش شهری، خشکسالی و توسعه ناپایدار مواجه هستند، کاربرد دارد.

یافته‌های این پژوهش با نتایج به‌دست‌آمده در مطالعات قبلی از جمله پژوهش Wolch et al. (۲۰۱۴) در مورد نابرابری فضایی دسترسی به فضای سبز در شهرهای آمریکایی، و Mudau et al. (۲۰۲۰) درباره تأثیر پوشش گیاهی بر کاهش استرس شهری، هم‌راستا است؛ این پژوهش نیز نشان می‌دهد که نواحی با تراکم سبز کمتر، بیشتر در معرض تنش محیطی هستند و نیازمند سیاست‌گذاری خاص می‌باشند.

همچنین، مطالعه‌ی Romanello et al. (۲۰۲۳) که به نقش فضای سبز در مقابله با تغییرات اقلیمی در شهرهای مدیترانه‌ای پرداخت، تأکید می‌کند که اطلاعات مکانی دقیق و مدیریت داده‌محور در اولویت برنامه‌ریزی شهری آینده قرار دارد، موضوعی که پژوهش حاضر نیز در آن مسیر حرکت کرده است.

در نهایت، این پژوهش در مقایسه با مطالعاتی نظیر Zhang et al. (۲۰۲۲) درباره شهرهای هوشمند چین، یک گام فراتر رفته و نه تنها تحلیل پوشش گیاهی، بلکه ادغام فعال داده‌های IoT را در تحلیل فضایی وارد کرده است؛ که آن را به الگویی پیشرو در حوزه‌ی مدیریت هوشمند فضای سبز شهری در مناطق در حال توسعه بدل می‌سازد.

References

- Besir, A. B., & Cuce, E. (2018). Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 915-939.
- Braverman, M. (2003). Managing the human impact of crisis. *Risk Management*, 50(5), 10.
- Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2011). Smart cities in Europe. *Journal of urban technology*, 18(2), 65-82.
- Chourabi, H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J. R., Mellouli, S., Nahon, K., Pardo, T. A., & Scholl, H. J. (2012). Understanding smart cities: An integrative framework. 2012 45th Hawaii international conference on system sciences.
- Costa, D. G., Bittencourt, J. C. N., Oliveira, F., Peixoto, J. P. J., & Jesus, T. C. (2024). Achieving sustainable smart cities through geospatial data-driven approaches. *Sustainability*, 16, 640(2).
- Elmqvist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P. J., McDonald, R. I., Parnell, S., Schewenius, M., Sendstad, M., & Seto, K. C. (2013). Urbanization, biodiversity and ecosystem services: challenges and opportunities: a global assessment. Springer Nature.
- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanovic, N., & Meijers, E. J. (2007). Smart cities. Ranking of European medium-sized cities. Final report.
- Hall, R. E., Bowerman, B., Braverman, J., Taylor, J., Todosow, H., & Von Wimmersperg, U. (2000). The vision of a smart city.
- Hoelscher, K. (2016). The evolution of the smart cities agenda in India. *International Area Studies Review*, 19(1), 28-44.
- Hyder, M. B., & Haque, T. Z. (2022). Understanding the linkages and importance of urban greenspaces for achieving sustainable development goals 2030. *J. Sustain. Dev*, 15, 144.
- Joss, S., Cook, M., & Dayot, Y. (2017). Smart cities: Towards a new citizenship regime? A discourse analysis of the British smart city standard. *Journal of urban technology*, 24(4), 29-49.
- Kistemann, T., Dangendorf, F., & Schweikart, J. (2002). New perspectives on the use of Geographical Information Systems (GIS) in environmental health sciences. *International journal of hygiene and environmental health*, 205(3), 169-181.
- Kourtit, K., Nijkamp, P., & Arribas, D. (2012). Smart cities in perspective—a comparative European

- study by means of self-organizing maps. *Innovation: The European journal of social science research*, 25(2), 229-246.
- Li, Y., Lai, Y., & Lin, Y. (2024). The Role of Diversified Geo-Information Technologies in Urban Governance: A Literature Review. *Land*, 13(9), 1408.
- Maas, J., Verheij, R. A., Groenewegen, P. P., De Vries, S., & Spreeuwenberg, P. (2006). Green space, urbanity, and health: how strong is the relation? *Journal of epidemiology & community health*, 60(7), 587-592.
- Moura, F., & de Abreu e Silva, J. (2021). Smart cities: definitions, evolution of the concept, and examples of initiatives. In *Industry, innovation and infrastructure* (pp. 989-997). Springer.
- Mudau, N., Mwaniki, D., Tsoeleng, L., Mashalane, M., Beguy, D., & Ndugwa, R. (2020). Assessment of SDG indicator 11.3. 1 and urban growth trends of major and small cities in South Africa. *Sustainability*, 12(17), 7063.
- Mukundan, A., Karmakar, R., Jouhar, J., Valappil, M. A. E., & Wang, H.-C. (2025). Advancing Urban Development: Applications of Hyperspectral Imaging in Smart City Innovations and Sustainable Solutions. *Smart Cities*, 8(2), 51.
- Naidu, D. S. (2018). GIS Applications to smart cities. *International Journal of Advanced Multidisciplinary Scientific Research (IJAMSR)*, 1(1), 1-7.
- Pauleit, S., Ambrose-Oji, B., Andersson, E., Anton, B., Buijs, A., Haase, D., Elands, B., Hansen, R., Kowarik, I., & Kronenberg, J. (2019). Advancing urban green infrastructure in Europe: Outcomes and reflections from the GREEN SURGE project. *Urban forestry & urban greening*, 40, 4-16.
- Romanello, M., Di Napoli, C., Green, C., Kennard, H., Lampard, P., Scamman, D., Walawender, M., Ali, Z., Ameli, N., & Ayeb-Karlsson, S. (2023). The 2023 report of the Lancet Countdown on health and climate change: the imperative for a health-centred response in a world facing irreversible harms. *The Lancet*, 402(10419), 2346-2394.
- Sabil, A. (2021). The sustainable city: the characteristic public urban green space for enhancing community social sustainability in Baghdad. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 12(3), 202-214.
- Sugiyama, T., Carver, A., Koohsari, M. J., & Veitch, J. (2018). Advantages of public green spaces in enhancing population health. *Landscape and urban planning*, 178, 12-17.
- Turek, T., & Stepniak, C. (2021). Areas of integration of GIS technology and smart city tools. Research findings. *Procedia Computer Science*, 192, 4681-4690.
- Wolch, J. R., Byrne, J., & Newell, J. P. (2014). Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'. *Landscape and urban planning*, 125, 234-244.
- Zhang, L., Shi, S., Wu, S., Yang, Y., Xu, J., Zhang, Y., Wang, Q., Shen, H., Zhang, Y., & Yan, D. (2022). Effects of greenness on preterm birth: a national longitudinal study of 3.7 million singleton births. *The Innovation*, 3 (3).